

(51) Internationale Patentklassifikation<sup>6</sup> :

H01L 21/3065, 21/321, 21/3213

A1

(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 98/37577

(43) Internationales  
Veröffentlichungsdatum:

27. August 1998 (27.08.98)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE98/00421

(22) Internationales Anmeldedatum: 13. Februar 1998 (13.02.98)

(30) Prioritätsdaten:

197 06 682.8

20. Februar 1997 (20.02.97)

DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): ROBERT  
BOSCH GMBH [DE/DE]; Postfach 30 02 20, D-70442  
Stuttgart (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): LÄRMER, Franz [DE/DE];  
Witikoweg 9, D-70437 Stuttgart (DE). SCHILP, Andrea  
[DE/DE]; Seelenbachweg 15, D-73525 Schwäbisch Gmünd  
(DE).(81) Bestimmungsstaaten: JP, KR, US, europäisches Patent (AT,  
BE, CH, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC,  
NL, PT, SE).

Veröffentlicht

Mit internationalem Recherchenbericht.

(54) Title: ANISOTROPIC, FLUORINE-BASED PLASMA ETCHING METHOD FOR SILICON

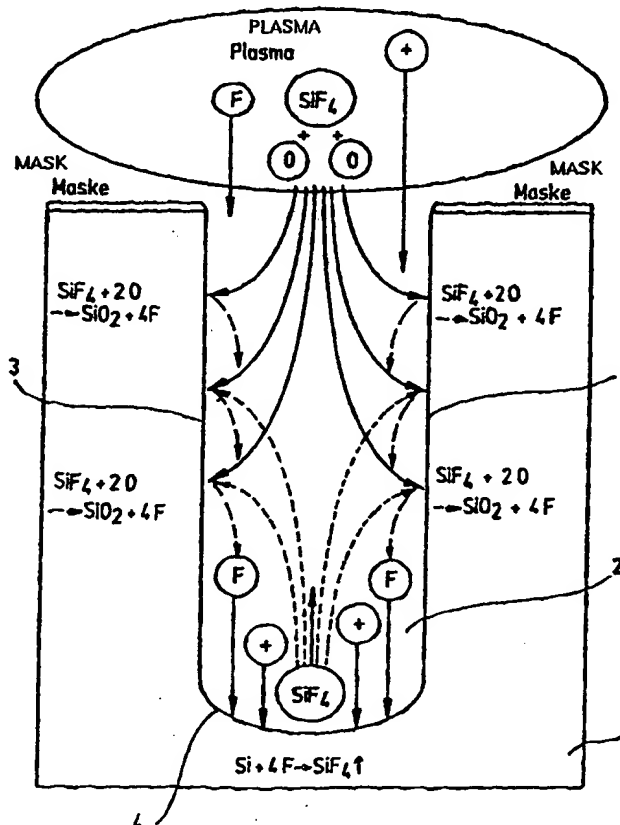
(54) Bezeichnung: ANISOTROPES FLUORBASIERTES PLASMAÄTZVERFAHREN FÜR SILICIUM

(57) Abstract

The invention relates to a method for anisotropic plasma etching of laterally defined structures in a silicon substrate, according to which before and/or during the plasma etching process protective layers consisting of at least one silicon compound with a second reactant are deposited on the side walls of said laterally defined structure, said silicon compound being chemically fully compatible with the etching process.

(57) Zusammenfassung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum anisotropen Plasmaätzen von lateral definierten Strukturen in einem Siliciumsubstrat, wobei vor und/oder während des Plasmaätzens auf den Seitenwänden der lateral definierten Strukturen Schutzschichten aus mindestens einer Siliciumverbindung mit einem zweiten Reaktionspartner abgeschieden werden, die mit der Chemie des Ätzprozesses voll verträglich ist.



# **LEDIGLICH ZUR INFORMATION**

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Armenien	FI	Finnland	LT	Litauen	SK	Slowakei
AT	Österreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg	SN	Senegal
AU	Australien	GA	Gabun	LV	Lettland	SZ	Swasiland
AZ	Aserbaidshan	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	TJ	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland	ML	Mali	TR	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	MN	Mongolei	TT	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	IE	Irland	MR	Mauretanien	UA	Ukraine
BR	Brasilien	IL	Israel	MW	Malawi	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Island	MX	Mexiko	US	Vereinigte Staaten von Amerika
CA	Kanada	IT	Italien	NE	Niger	UZ	Usbekistan
CF	Zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NL	Niederlande	VN	Vietnam
CG	Kongo	KE	Kenia	NO	Norwegen	YU	Jugoslawien
CH	Schweiz	KG	Kirgisistan	NZ	Neuseeland	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	PL	Polen		
CM	Kamerun	KR	Republik Korea	PT	Portugal		
CN	China	KZ	Kasachstan	RO	Rumänien		
CU	Kuba	LC	St. Lucia	RU	Russische Föderation		
CZ	Tschechische Republik	LI	Liechtenstein	SD	Sudan		
DE	Deutschland	LK	Sri Lanka	SE	Schweden		
DK	Dänemark	LR	Liberia	SG	Singapur		
EE	Estland						

Anisotropes fluorbasiertes Plasmaätzverfahren  
für Silicium

Stand der Technik

Die Erfindung geht aus von einem Verfahren zum anisotropen Plasmaätzen von lateral definierten Strukturen in einem Siliciumsubstrat gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Das Ausbilden von Strukturen, beispielsweise Ausnehmungen in einem Siliciumsubstrat mittels des Plasmaätzverfahrens ist bekannt. Bekannt ist es auch, beispielsweise für Anwendungen in der Mikro-mechanik, Fluorverbindungen zum anisotropen Plasmaätzen einzusetzen. Die im Plasma erzeugten Fluorradikale agieren allerdings gegenüber Silicium isotrop, das heißt die laterale Ätzrate entspricht im wesentlichen der vertikalen, was zu entsprechend großen Maskenhinterschneidungen und abgerundeten Profilformen führt. Um mittels eines Ätzverfahrens unter Verwendung von Fluorverbindungen eine vertikale Seitenwand zu erzielen, sind zusätzlich Vor-

kehrungen zu treffen, um die Seitenwand selektiv vor dem Ätzangriff zu schützen und die Ätzung auf den Strukturgrund, das heißt den Boden der Ausnehmung, zu beschränken. Die Diskriminierung zwischen der Seitenwand der Ausnehmung und dem Ätzgrund kommt durch einen stark gerichteten vertikalen Einfall energetischer Ionen zustande, die neben den chemisch aktiven neutralen Radikalen gleichzeitig im Plasma produziert werden. Die Ionen treffen auf die Oberfläche des Substrates, wobei der Ätzgrund stark und die Seitenwände der Ausnehmung dagegen nur relativ schwach von Ionen bombardiert werden. Es ist bekannt, als Schutzmechanismus für die Seitenwände polymerbildende Gase wie  $\text{CHF}_3$  einzusetzen, die direkt mit dem fluorliefernden Ätzgas gemischt werden. Aus den im Plasma vorhandenen polymerbildenden Monomeren wird eine Polymerschicht auf der Seitenwand abgeschieden, während die im Plasma produzierten Fluorradikale gleichzeitig am infolge Ioneneinfalls polymerfreien Ätzgrund das Siliciumsubstrat ätzen. Als nachteilig erweist sich, daß es im Plasma beziehungsweise auf dem Weg zum zu ätzenden Substrat zu einer intensiven Rekombination zwischen ungesättigten polymerbildenden Monomeren und den Fluorradikalen kommt. Zur Überwindung dieses Nachteils ist es bekannt, die störende Rekombination von ungesättigten polymerbildenden Monomeren und den zur Siliciumätzung fähigen Fluorradikalen zu verhindern, indem das Plasmaätzen in Ätzschritte, bei denen ausschließlich fluorliefernde Gase eingesetzt werden, und Depositionsschritte, bei denen ausschließlich Depositionsgase, wie die polymerbildenden Gase, eingesetzt werden, getrennt wird. Die

beiden eingesetzten Gassorten begegnen sich aufgrund der zeitlichen Trennung ihrer Verwendung im Plasma nicht, so daß auch keine nennenswerte Rekombination erfolgen kann.

Es ist auch bekannt, die Seitenwände zu passivieren, indem im Plasma neben den ätzenden Fluorradikalen Sauerstoffradikale beziehungsweise Stickstoffradikale eingesetzt werden, die das Silicium der Seitenwand oberflächlich in Siliciumoxid beziehungsweise Siliciumnitrid umwandeln. Da die dielektrische Oberfläche durch die Fluorradikale besonders stark mit Ionenunterstützung und weniger stark ohne Ionenunterstützung geätzt wird, schreitet die Ätzung im wesentlichen auf dem Ätzgrund voran, während die Seitenwand relativ geschützt bleibt. Ein wesentlicher Nachteil dieses Verfahrens besteht darin, daß die oberflächlich erzeugten Siliciumoxid- beziehungsweise -nitridschichten nur atomare Dicken aufweisen, das heißt im Bereich von 1 nm und darunter liegen. Die oberflächlich erzeugten Siliciumoxid- beziehungsweise Siliciumnitridschichten sind daher nicht sehr dicht und bieten nur unvollständigen Schutz. Dies führt dazu, daß die Prozeßkontrolle erschwert wird beziehungsweise das Prozeßergebnis durch sekundäre Effekte stark beeinflusst wird. Die Profilformen der auszubildenden Strukturen sind nie vollständig senkrecht, da es immer Seitenwandangriffe und folglich auch Maskenrandhinterschneidungen gibt. Um die Wirksamkeit dieser Passivierung zu steigern, werden kryogene Verfahren eingesetzt, wobei durch Tiefkühlen der Siliciumsubstrate auf Temperaturen bis unter  $-100^{\circ}\text{C}$  zusätzlich zur Sauerstoffpassivierung oder Stick-

stoffpassivierung die Seitenwandreaktion ausgefroren wird. Diese Verfahren sind im US-Patent 4,943,344 beschrieben. Als nachteilig erweist sich der hohe apparative Aufwand und die damit verbundenen Kosten, sowie die vergleichsweise geringe Zuverlässigkeit der Komponenten.

#### Vorteile der Erfindung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum anisotropen Plasmaätzen von lateral definierten Strukturen in einem Siliciumsubstrat, wobei vor und/oder während des Plasmaätzens auf den Seitenwänden der lateral definierten Strukturen Schutzschichten aus mindestens einer Siliciumverbindung abgeschieden werden. In besonders vorteilhafter Ausgestaltung sieht die Erfindung vor, auf den Seitenwänden der lateral definierten Strukturen, insbesondere Balken, Gräben, Kämmen oder Zungen, Siliciumoxid- und/oder Siliciumnitridschichten abzuscheiden. Die Strukturen sind vorzugsweise mit Hilfe einer Ätzmaske definiert. Die erfindungsgemäße Vorgehensweise führt in vorteilhafter Weise zu einer dicken, das heißt einige nm bis einige 10 nm dicken, Siliciumoxid- beziehungsweise Siliciumnitridschicht auf den Seitenwänden der Struktur. Diese Schutzschicht hält bereits bei Zimmertemperatur dem Ätzangriff der im Plasma gebildeten Radikale, insbesondere der vorzugsweise eingesetzten Fluorradikale, stand und ermöglicht damit einen besonders sicheren und störunanfälligen Ätzvorgang. In vorteilhafter Weise ist das Verfahren auch bei tieferen Substrattemperaturen durchführbar, wobei bei jeder Temperatur eines Substrates ein bestimmter Parameterbereich

der Gaszusammensetzung zu verwenden ist, der zum Erhalt senkrechter Ätzprofile führt.

Die Erfindung sieht in vorteilhafter Weise vor, daß das im Plasma Fluorradikale freisetzende Ätzgas Schwefelhexafluorid  $\text{SF}_6$  oder Stickstofftrifluorid  $\text{NF}_3$  gegebenenfalls als Gemisch zusammen mit Argon ist. Dem die Fluorradikale liefernden Ätzgas werden zur Bereitstellung der die Schutzschicht bildenden Komponenten Oxid- und/oder Nitridbildner sowie ein sekundärer Reaktant zugefügt. Als Oxid- beziehungsweise Nitridbildner wird Sauerstoff  $\text{O}_2$ , Distickstoffoxid  $\text{N}_2\text{O}$ , ein anderes Stickoxid  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_x$ , Kohlendioxid  $\text{CO}_2$ , oder Stickstoff  $\text{N}_2$  zugesetzt. In vorteilhafter Weise sieht die Erfindung bei der Verwendung von  $\text{NF}_3$  als Ätzgas vor, keinen gesonderten Nitridbildner einzusetzen, da der bei dem Zerfall des Ätzgases  $\text{NF}_3$  freiwerdende Stickstoff zur Nitrifizierung dient. Als sekundärer Reaktant, das heißt als die die Silicium-Komponente der Schutzschicht liefernde Verbindung, wird vorteilhafterweise Siliciumtetrafluorid  $\text{SiF}_4$  eingesetzt. Aus dem sekundären Reaktant, also vorzugsweise  $\text{SiF}_4$ , und dem aus dem Oxid- oder Nitridbildner stammenden Reaktionspartner Sauerstoff beziehungsweise Stickstoff wird erfindungsgemäß auf der Seitenwand der Struktur das Reaktionsprodukt  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Si}_x\text{N}_y$  oder eine Mischung aus  $\text{Si}_x\text{O}_y\text{N}_z$  abgeschieden. Der sekundäre Reaktant  $\text{SiF}_4$  reagiert nicht mit den aus dem  $\text{SF}_6$ -Zerfall stammenden Fluorradikalen, sondern ausschließlich mit Sauerstoff beziehungsweise Stickstoff, wobei sogar zusätzlich Fluorradikale freigesetzt werden ( $\text{SiF}_4 + \text{O}_2 \rightleftharpoons \text{SiO}_2 + 4 \text{F}^*$ ;  $\text{SiF}_4 + x \text{O}^* \rightleftharpoons \text{SiO}_x\text{F}_{4-x} + x \text{F}^*$ ).

Selbstverständlich ist es auch möglich, das erfindungsgemäße Plasmaätzen in voneinander getrennte Ätz- und Abscheideschritte zu trennen, wobei während des Ätzschrittes lediglich geätzt und während des Abscheideschrittes das vorstehend beschriebene Abscheiden der Siliciumverbindung durchgeführt wird. In besonders bevorzugter Weise werden die Ätzschritte alternierend mit den Abscheideschritten durchgeführt.

Die Affinität der erfindungsgemäß bevorzugten Oxidbeziehungsweise Nitridbildner gegenüber dem sekundären Reaktanten, also vorzugsweise  $\text{SiF}_4$ , ist gering genug, daß in der Gasphase insbesondere unter den erfindungsgemäß bevorzugten niedrigen Prozeßdrücken und den erfindungsgemäß vorgesehenen Verfahrensbedingungen, insbesondere dem Überschuß an freien Fluorradikalen im Plasma, selbst unter hochdichter Plasmaanregung keine nennenswerte Umsetzung zwischen den Oxid- beziehungsweise Nitridbildnern und dem sekundären Reaktanten stattfindet. Dadurch wird in vorteilhafter Weise vermieden, daß eine Reaktion beispielsweise eines Oxidbildners mit  $\text{SiF}_4$  zu  $\text{SiO}_2$  bereits in der Gasphase erfolgt, wobei der gebildete Feststoff auf die Oberfläche des Substrats herabfallen würde und dort eine Mikromaskierung mit Ätzgrundrauhigkeiten beziehungsweise Nadelbildung bewirken kann. Der erfindungsgemäß vorgesehene niedrige Prozeßdruck bewirkt durch große freie Weglängen eine Reduktion der Umsetzungswahrscheinlichkeit in der Gasphase sowie eine Reduktion von Mikroloading-Effekten bei der Siliciumätzung in schmalen Trenchgräben.



Die Erfindung führt also in vorteilhafter Weise zur Abscheidung von ätzbeständigen Siliciumverbindungen an den Seitenwänden der lateral definierten Strukturen, die als Schutzschicht wirken. Im Verlauf des erfindungsgemäßen Verfahrens treffen kontinuierlich aktivierte Siliciumfluoridverbindungen und Sauerstoff- beziehungsweise Stickstoffradikale sowie ein hoher Anteil an Fluorradikalen auf der Siliciumoberfläche auf. Dabei wird eine dicke dielektrische Schicht dort ausgebildet, wo die in vorteilhafter Weise erfindungsgemäß vorgesehene intensive Ioneneinwirkung nicht erfolgt, das heißt auf den Seitenwänden. Auf ionenbombardierte Flächen, das heißt dem Boden der Strukturen, insbesondere Ausnehmungen oder dem Ätzgrund dominiert der Einfluß der Fluorradikale und die Ätzreaktion, so daß das Siliciumsubstrat dort abgetragen wird. Die Erfindung stellt demgemäß ein Passivierungssystem für die Seitenwände lateral definierter Strukturen bereit, das ohne besondere Zusatzmaßnahmen mit den reaktiven Fluorradikalen verträglich ist.

Die Erfindung sieht in besonders vorteilhafter Ausgestaltung vor, das Verfahren mittels einer hochdichten Plasmaquelle, zum Beispiel PIE (Propagation Ion Etching), ICP (Inductive Coupled Plasma), ECR (Electron Cyclotron Resonance) durchzuführen, wodurch es ermöglicht wird, hohe Flüsse von Ätz- und Passivierspezies sowie von Ionen mit niedriger Energie einzusetzen. Dadurch wird eine hohe Ätzrate und Maskenselektivität erreicht, was letztendlich zu einem hohen Siliciumabtrag bei gleichzeitig geringem Maskenmaterialabtrag führt.

Die Erfindung sieht in vorteilhafter Weise vor, den Durchbruch von möglicherweise auf dem Ätzgrund abgeschiedenen Siliciumverbindungen, vorzugsweise  $\text{SiO}_2$ , zu beschleunigen, indem sogenannte  $\text{SiO}_2$ -verzehrende Gase wie  $\text{CHF}_3$ ,  $\text{C}_4\text{F}_8$ ,  $\text{CF}_4$ ,  $\text{C}_2\text{F}_6$  oder  $\text{C}_3\text{F}_6$  dem Gasgemisch zugesetzt werden. Die  $\text{SiO}_2$ -verzehrenden Gase ätzen aufgrund ihres Kohlenstoffgehaltes unter gleichzeitiger Ioneneinwirkung  $\text{SiO}_2$  besonders gut. Auf diese Weise werden ein sauberer Ätzgrund und noch höhere Ätzraten erreicht. Überdies wird eine Nadelbildung auf dem Ätzgrund vermieden. Diese Scavenger-Gase (Scavenger = oxidverzehrend) können kontinuierlich dem Plasma als konstante Beimischung zugesetzt werden, oder aber von Zeit zu Zeit oder periodisch über eine kurze Zeit eingelassen werden, um während eines solchen Flashes Oxidverunreinigungen des Ätzgrundes abzutragen.

Die Erfindung sieht in besonders vorteilhafter Weise vor, daß das Plasmaätzen unter gleichzeitiger Ioneneinstrahlung durchgeführt wird, wobei die eingesetzte Ionenenergie vorzugsweise bei 1 bis 100 eV, insbesondere bei 30 bis 50 eV liegt.

Vorzugsweise weisen die für das Plasmaätzen eingesetzten Medien Gasflüsse von 10 bis 200 sccm auf bei einem Prozeßdruck von 1 bis 50  $\mu\text{bar}$ .

Die Erfindung sieht in einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung vor, die Plasmaerzeugung durch Mikrowelleneinstrahlung beziehungsweise Hochfrequenzeinstrahlung bei Leistungen von 500 bis 2000 W durchzuführen.

Die Erfindung sieht insbesondere vor, die Ionen-dichte, die Ionenenergie und die Relation geladener zu ungeladener Teilchen unabhängig voneinander zu regeln.

In besonders vorteilhafter Ausgestaltung sieht die Erfindung vor, den Gasfluß für  $\text{SF}_6$  bei 20 bis 200 sccm einzustellen.

Die Erfindung sieht auch vor, den Gasfluß für  $\text{SiF}_4$  bei 10 bis 50 sccm einzustellen.

Die Erfindung sieht in einer weiteren Ausgestaltung vor, den Gasfluß für Sauerstoff bei 10 bis 100 sccm und den Gasfluß für die  $\text{SiO}_2$ -verzehrenden Gase, insbesondere  $\text{C}_4\text{F}_8$ , bei kontinuierlichem Gasfluß bei 2 bis 10 sccm einzustellen. Bei gepulstem Scavenger-Gasfluß kann dessen Fluß höher gewählt werden, beispielsweise 30 bis 60 sccm  $\text{C}_4\text{F}_8$  alle 30 bis 60 Sekunden einmal über 5 Sekunden Dauer. Ein Pulsen des Scavenger Flusses führt in den Prozeß kurze Reinigungsschritte ein, die bei entsprechend höherem Fluß eine kurzzeitige, intensive Reinigungswirkung entfalten, ohne die Profilform störend zu beeinflussen. Da der Scavenger nur kurzzeitig anwesend ist, kann er die Ätzprofile nicht nachteilig beeinflussen, aber trotzdem den Ätzgrund gut von Verunreinigungen befreien. Auf dem Ätzgrund werden durch intensiven Ioneneinfall Verunreinigungen rascher abgetragen, als der Scavenger den Durchbruch durch das Seitenwand(schutz)oxid schafft.

Die Erfindung sieht in einer weiteren Ausgestaltung vor, das zur Ionenbeschleunigung an der Substratelektrode eine Hochfrequenzleistung von 5 bis 50 W

bereitgestellt wird, was Beschleunigungsspannungen von 20 bis 150 V entspricht.

### Zeichnungen

Die vorliegende Erfindung wird nachfolgend in Ausführungsbeispielen anhand der zugehörigen Figuren näher erläutert. Es zeigen:

Figur 1 einen Längsschnitt durch ein Siliciumsubstrat mit lateralen Strukturen und

Figur 2 eine Darstellung des Prinzips des Ätzprozesses.

Die Figur 1 zeigt eine mittels des erfindungsgemäßen Plasmaätzverfahrens hergestellte Struktur in einem Siliciumsubstrat.

Sie zeigt ein Substrat 1 mit einer durch die Seitenwände 3 definierten Ausnehmung 2. Dargestellt ist ferner der Ätzgrund 4 sowie eine schmalere Ausnehmung 2'.

Das Verfahren zum anisotropen Plasmaätzen von lateral definierten Ausnehmungen 2, 2' in einem Siliciumsubstrat 1 wurde mit dem Ätzgas  $\text{SF}_6$  und einem Gasfluß von 75 sccm ( $\text{SF}_6$ ) durchgeführt. Als Oxidbildner wurde  $\text{O}_2$  mit einem Gasfluß von 38 sccm und als sekundärer Reaktant  $\text{SiF}_4$  mit einem Gasfluß von 38 sccm eingesetzt. Das Abscheiden der Schutzschicht, also der Siliciumverbindung  $\text{SiO}_2$ , geschah gleichzeitig mit dem Plasmaätzen von selbst. Die Temperatur des Substrats 1 lag bei 10°C. Der Prozeßdruck lag bei 20  $\mu\text{bar}$  und die eingesetzte PIE-

Quelle lieferte eine Mikrowellenleistung von 650 W (2,45 GHz). Zur Erzeugung einer Ionenbeschleunigungsspannung wurde an der Substratelektrode eine Hochfrequenzleistung von 5 W (13,56 MHz) eingesetzt, wobei die Ionenbeschleunigungsspannung (DC-bias) 40 V betrug.

Die Figur 1 zeigt, daß mittels der vorstehend genannten Verfahrensbedingungen in vorteilhafter Weise senkrechte Seitenwände 3 der Ausnehmungen 2, 2' im Substrat 1 erzeugt wurden. In besonders vorteilhafter Weise ergeben sich ausgesprochen geringe Ätzratenunterschiede zwischen breiten Ausnehmungen 2 und schmaleren Ausnehmungen 2'.

In der Figur 2 ist das Prinzip des Ätzprozesses dargestellt. Gleiche Teile sind mit denselben Bezugsziffern wie in Figur 1 versehen. Es ist ein Substrat 1 dargestellt, in das durch den Ätzprozeß eine laterale Ausnehmung 2' eingebracht wird. Für die Seitenwandpassivierung werden in das Plasma, zusätzlich zu den in diesem ausgebildeten Fluorradikalen und positiv geladenen Ionen Siliciumtetrafluorid  $\text{SiF}_4$  und Sauerstoff eingeführt, die eine fluorverträgliche Seitenwandpassivierung gewährleisten. Am Ätzgrund 4 findet durch Ionenunterstützung die Umsetzung von Silicium und Fluorradikalen zu flüchtigem Siliciumtetrafluorid statt, welches den Ätzgrund verläßt, was die erwünschte Ätzreaktion darstellt. Die Ätzung erfolgt am Ätzgrund 4 spontan und benötigt also an sich keine Ionenunterstützung. Aufgrund des starken Ioneneinfalls wird dort jedoch die Bildung von die Ätzung hemmenden Siliciumoxiden oder Oxyfluoriden unterdrückt.

An den Seitenwänden 3, die nur einem vergleichsweise geringen Ionenbombardement ausgesetzt sind, kann dagegen eine Reaktion von Siliciumtetrafluorid mit Sauerstoff zu einem die Ätzung hemmenden Siliciumoxid oder -oxyfluorid erfolgen, das sich als Film auf den Seitenwänden 3 abscheidet. Zu einem geringen Teil wird dabei das auf dem Ätzgrund gebildete Siliciumtetrafluorid, das den Trenchgraben verlassen will, in einer Rückreaktion zur Filmbildung auf den Seitenwänden 3 verbraucht, was durch die gestrichelten Linien in Figur 2 angedeutet ist. Der wesentliche Teil des zum Seitenwandfilmaufbau benötigten Siliciumtetrafluorids wird jedoch aus der Plasmachemie geliefert, das heißt Siliciumtetrafluorid wird als das wesentliche Passivierungsgas zusammen mit Sauerstoff ins Plasma eingeleitet, was in der Figur 2 durch die durchgezogenen Linien gekennzeichnet ist. Wie man in Figur 2 erkennen kann, wird bei dieser Filmbildungsreaktion aus  $\text{SiF}_4$  sogar zusätzlich Fluor freigesetzt, das zusätzlich die Ätzreaktion auf dem Ätzgrund unterstützen kann. Deswegen ist das Microloading beziehungsweise der RIE-lag, das heißt die Abnahme der Ätzrate in schmalen Trenches verglichen mit breiten, bei dieser Chemie relativ moderat ausgeprägt, da sich im Trench durch die Wandfilmbildungsreaktion zusätzliches Fluor bildet.

In einem weiteren Ausführungsbeispiel wurden unter ICP-Anregungsbedingungen (ICP: Induktiv gekoppeltes Plasma) mit Hochfrequenzanregung die nachfolgenden vorteilhaften Parameter gefunden. Die Gasflüsse betrugen 40 sccm  $\text{SF}_6$ , 60 sccm  $\text{O}_2$ , 21 sccm  $\text{SiF}_4$  und 5 sccm  $\text{C}_4\text{F}_8$  als konstanter Gasfluß. Der Druck betrug

15 mTorr = 20  $\mu$ bar und die ICP-Hochfrequenzleistung 800 W bei 13.56 Mhz, sowie die Substratleistung (Bias-Power) 10 bis 15 W bei 13.56 Mhz. Die Biasspannung wurde auf 40 bis 100 V eingestellt. Bei einem gepulsten  $C_4F_8$ -Fluß wurden folgende Gasflüsse eingestellt: 40 sccm  $SF_6$ , 60 sccm  $O_2$ , 21 sccm  $SiF_4$ , 30 - 60, vorzugsweise 45 sccm  $C_4F_8$ . Dabei wurde  $C_4F_8$  periodisch alle 30 - 60 Sekunden, vorzugsweise alle 45 Sekunden einmal über eine Zeitdauer von 5 Sekunden zugeführt. Die ICP-Hochfrequenzleistung betrug dabei 800 W und die Substratleistung 12 W.

### **Ansprüche**

1. Verfahren zum anisotropen Plasmaätzen von lateral definierten Strukturen in einem Siliciumsubstrat, wobei vor und/oder während des Plasmaätzens auf den Seitenwänden der lateral definierten Strukturen Schutzschichten aus mindestens einer Siliciumverbindung abgeschieden werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Siliciumverbindung Siliciumoxid oder Siliciumnitrid oder Siliciumoxynitrid ist.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Siliciumoxidschicht oder Siliciumnitridschicht aus einer dem Ätzgas zugesetzten Siliciumverbindung und Sauerstoff und/oder Stickstoff als Reaktionspartner abgeschieden wird.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die dem Ätzgas zugesetzte Siliciumverbindung zu diesem verträglich ist, das heißt nicht mit der Ätzchemie, wohl aber mit Sauerstoff und/oder Stickstoff reagiert.



5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die dem Ätzgas zugesetzte Siliciumverbindung  $\text{SiF}_4$  ist.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß dem Ätzgas  $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}_2$  oder  $\text{N}_2$  zugesetzt wird.
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß als Reaktionspartner  $\text{O}_2$  und/oder  $\text{N}_2$  zugesetzt wird.
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Reaktionspartner  $\text{O}_2$  und/oder  $\text{N}_2$  aus dem Ätzgas geliefert wird.
9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das zum Plasmaätzen eingesetzte Ätzgas ein fluorlieferndes Gas, vorzugsweise  $\text{SF}_6$  oder  $\text{NF}_3$ , ist.
10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß dem Ätzgas  $\text{SiO}_2$ -verzehrende Gase, insbesondere  $\text{CHF}_3$ ,  $\text{CF}_4$ ,  $\text{C}_2\text{F}_6$ ,  $\text{C}_3\text{F}_6$  oder  $\text{C}_4\text{F}_8$ , kontinuierlich zugesetzt werden.
11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das  $\text{SiO}_2$ -verzehrende Gas nur kurzzeitig und periodisch zugeführt wird, um während solcher Reinigungsschritte den Ätzgrund intensiv zu reinigen.
12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Plasmaätzen in

voneinander getrennten Ätz- und Abscheideschritten durchgeführt wird, wobei der Ätzschritt alternierend mit dem Abscheideschritt durchgeführt wird.

13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Plasmaätzen unter gleichzeitiger Ioneneinstrahlung durchgeführt wird, vorzugsweise mit einer Ionenenergie von 1 bis 100 eV, vorzugsweise von 30 bis 50 eV.

14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die für das Plasmaätzen eingesetzten Medien Gasflüsse von 10 bis 200 sccm und Prozessdrücke von 1-50  $\mu$ bar (0.1-5 Pa) aufweisen.

15. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Siliciumsubstrat während des Plasmaätzens gekühlt wird.

16. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Plasmaerzeugung durch Mikrowelleneinstrahlung beziehungsweise Hochfrequenzeinstrahlung (HF) bei Leistungen von 500-2.000 Watt erfolgt.

17. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Ionendichte, die Ionenenergie und die Relation geladener (= Ionen) zu ungeladenen Teilchen (= Neutralspezies) unabhängig voneinander geregelt wird.

18. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Gasfluß für Schwefelhexafluorid SF<sub>6</sub> 20-200 sccm beträgt.

19. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Gasfluß für Siliciumtetrafluorid  $\text{SiF}_4$  10-50 sccm beträgt.

20. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Gasfluß für Sauerstoff  $\text{O}_2$  10-100 sccm beträgt.

21. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Gasfluß für die  $\text{SiO}_2$ -verzehrenden Gase, insbesondere  $\text{C}_4\text{F}_8$ , 2 - 10 sccm beträgt.

22. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß  $\text{C}_4\text{F}_8$  periodisch alle 30 bis 60 Sekunden einmal über eine Zeitdauer von jeweils 5 Sekunden und mit einem Fluß von 30 bis 60 sccm eingelassen wird.

1 / 2

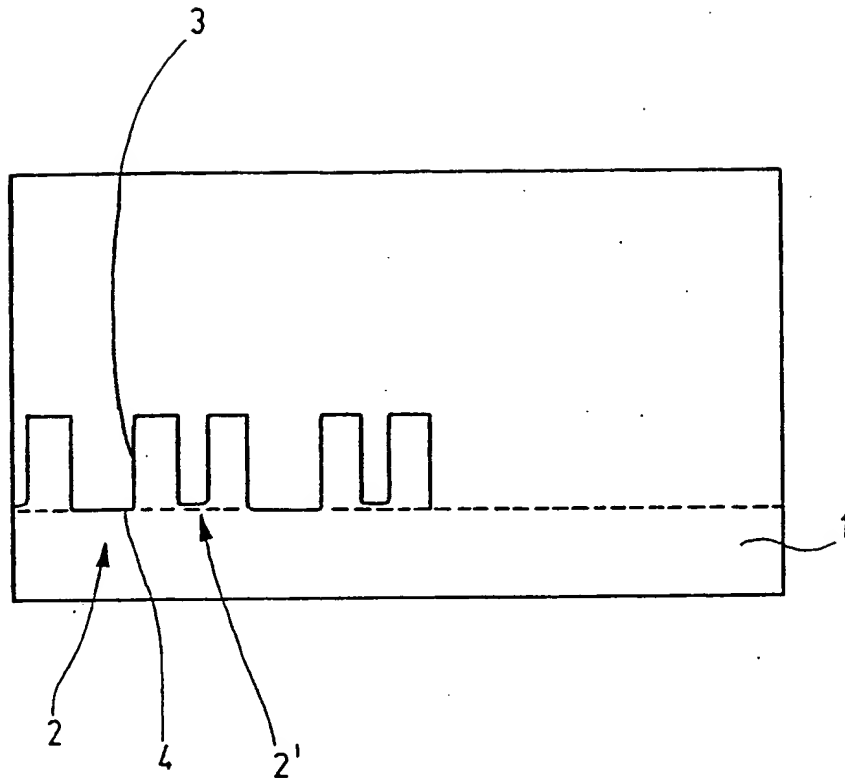


Fig. 1

2 / 2

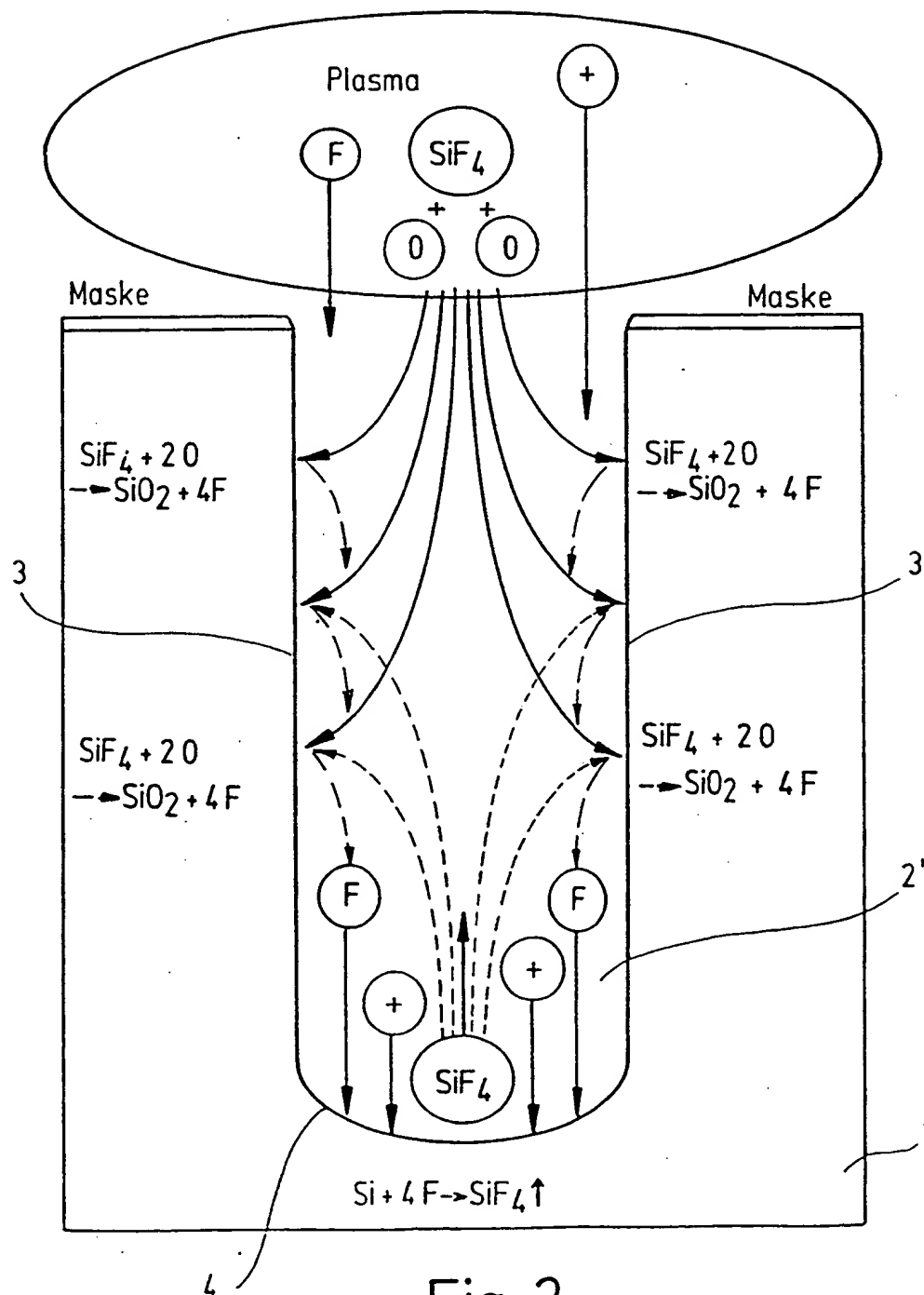


Fig. 2

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

In tional Application No

PCT/DE 98/00421

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 6 H01L21/3065 H01L21/321 H01L21/3213

According to International Patent Classification(IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 6 H01L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 0 414 372 A (SONY CORP) 27 February 1991 see column 3 - column 4; claims 1-12; figure 1C ---	1-7, 14, 16
X	US 5 354 416 A (OKUDAIRA SADAYUKI ET AL) 11 October 1994 see column 2, line 45 - column 4, line 50; claims 1-26 ---	1, 9, 15
A	DE 44 20 962 A (BOSCH GMBH ROBERT) 21 December 1995 see column 2 - column 3 ---	1, 13
A	US 5 447 598 A (MIHARA SATORU ET AL) 5 September 1995 see claims 1, 3, 4, 8-12 ---	1-12
A	US 5 447 598 A (MIHARA SATORU ET AL) 5 September 1995 see claims 1, 3, 4, 8-12 ---	1-8, 14, 16
	-/--	

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

### \* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

27 May 1998

Date of mailing of the international search report

04/06/1998

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Hammel, E

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

In International Application No

PCT/DE 98/00421

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	<p>US 5 100 505 A (CATHEY JR DAVID A) 31  March 1992  see column 3, line 22 - column 4, line 28;  figures 3,4</p> <p style="text-align: center;">-----</p>	1-8

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

In .tional Application No

PCT/DE 98/00421

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 0414372	A	27-02-1991	JP 3053912 A	07-03-1991
			US 5078833 A	07-01-1992
US 5354416	A	11-10-1994	US 5705029 A	06-01-1998
			DE 3752140 D	18-12-1997
			DE 3752140 T	05-03-1998
			EP 0258698 A	09-03-1988
			JP 1032628 A	02-02-1989
			JP 2656500 B	24-09-1997
DE 4420962	A	21-12-1995	GB 2290413 A,B	20-12-1995
US 5447598	A	05-09-1995	JP 2125611 A	14-05-1990
			JP 2224240 A	06-09-1990
			JP 2610337 B	14-05-1997
			JP 3019335 A	28-01-1991
			DE 68923247 D	03-08-1995
			DE 68923247 T	26-10-1995
			EP 0368732 A	16-05-1990
			KR 9607635 B	07-06-1996
US 5100505	A	31-03-1992	DE 4133332 A	23-04-1992
			JP 5102090 A	23-04-1993



# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

In nationales Aktenzeichen

PCT/DE 98/00421

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
IPK 6 H01L21/3065 H01L21/321 H01L21/3213

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 6 H01L

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	EP 0 414 372 A (SONY CORP) 27. Februar 1991 siehe Spalte 3 - Spalte 4; Ansprüche 1-12; Abbildung 1c ---	1-7, 14, 16
X	US 5 354 416 A (OKUDAIRA SADAYUKI ET AL) 11. Oktober 1994 ---	1, 9, 15
A	siehe Spalte 2, Zeile 45 - Spalte 4, Zeile 50; Ansprüche 1-26 ---	1, 13
A	DE 44 20 962 A (BOSCH GMBH ROBERT) 21. Dezember 1995 siehe Spalte 2 - Spalte 3 ---	1-12
A	US 5 447 598 A (MIHARA SATORU ET AL) 5. September 1995 siehe Ansprüche 1, 3, 4, 8-12 ---	1-8, 14, 16
	--- -/-	

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"Z" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

27. Mai 1998

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

04/06/1998

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde  
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Hammel, E

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

In. ationales Aktenzeichen

PCT/DE 98/00421

## C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie	Bezeichnung der Veröffentlichung; soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	<p>US 5 100 505 A (CATHEY JR DAVID A) 31.März 1992  siehe Spalte 3, Zeile 22 - Spalte 4, Zeile 28; Abbildungen 3,4  -----</p>	1-8

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 98/00421

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 0414372 A	27-02-1991	JP 3053912 A	07-03-1991
		US 5078833 A	07-01-1992
US 5354416 A	11-10-1994	US 5705029 A	06-01-1998
		DE 3752140 D	18-12-1997
		DE 3752140 T	05-03-1998
		EP 0258698 A	09-03-1988
		JP 1032628 A	02-02-1989
		JP 2656500 B	24-09-1997
DE 4420962 A	21-12-1995	GB 2290413 A,B	20-12-1995
US 5447598 A	05-09-1995	JP 2125611 A	14-05-1990
		JP 2224240 A	06-09-1990
		JP 2610337 B	14-05-1997
		JP 3019335 A	28-01-1991
		DE 68923247 D	03-08-1995
		DE 68923247 T	26-10-1995
		EP 0368732 A	16-05-1990
		KR 9607635 B	07-06-1996
US 5100505 A	31-03-1992	DE 4133332 A	23-04-1992
		JP 5102090 A	23-04-1993